by the specific weight rate according to the formula proposed by us: where M is the live weight of the cow, kg; G_g – the depth of the chest, cm; W_g – width of the breast, cm; P_c – width at the hip joints, cm; C_d – slanting body length (measuring stick), see. Distribution of cows for body types was carried out according to the specific weight rate: loose (1,36 or less), intermediate (1,37–1,54) and dense (1,55 and more). The distribution of the analyzed livestock revealed that most of the cows (52,9 % or 72 heads) belong to a dense body type, 14 heads or 10,3 % to a loose type and 50 heads or 36,8 % to an intermediate type. For 305 days of lactation, cows of dense

body type were characterized by the highest milk yield, the advantage of which over intermediate peers was 222 kg or 3,2 %, loose – 567 kg or 8,5 % ($P > 0,99$). A longer service period of 104 days is found for loose-type cows being 13 days longer than of intermediate-type cows ($P > 0,95$) and 21 days more than of a dense type cattle ($P > 0,99$). The reproduction ability coefficient of a dense body type was 0,99 units, that is higher than the values obtained from cows of the loose type by 0,04 units. ($P > 0,95$). Animals of the intermediate type occupied the middle position between the extreme values of the trait.

© Улимбашев М.Б.

УДК 621.313.33:631.3

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-74-82

Р.С. Аипов, Д.С. Леонтьев, В.Ю. Кабашов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДВУХНОЖЕВОГО РЕЖУЩЕГО АППАРАТА ЖАТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Ключевые слова: линейный электропривод; возвратно-поступательное движение; режущий аппарат; ножевая полоса; плоский линейный асинхронный двигатель; индуктор; вторичный элемент.

Введение. На сегодняшний день в жатках зерноуборочных комбайнов широко применяются режущие аппараты с возвратно-поступательным движением ножевых полос [10]. Данные аппараты бывают подпорного (сегментно-пальцевые) и бесподпорного (двухножевые) типов [4]. Сегментно-пальцевые режущие аппараты нормального резания с одинарным пробегом ножа применяются в широком большинстве [11]. Именно они по умолчанию устанавливаются заводами-изготовителями в жатки комбайнов, предназначенных для уборки зерновых культур [8]. Однако уборку зернобобовых и поллегших зерновых культур сегментно-пальцевыми режущими аппаратами осуществить не всегда представляется возможным, так как происходит постоянное забивание режущей части убираемой культурой, при этом сама уборка происходит на малой поступательной скорости комбайна с большой частотой вращения приводного двигателя. В таких условиях перспективным направлением является применение двухножевых режущих аппаратов, ножи которых совершают встречное возвратно-поступательное движение [7]. При этом режущий аппарат практически не забивается культурой при уборке, и ее можно проводить на повышенной поступательной скорости движения комбайна.

Одним из существенных недостатков, тормозящим применение двухножевых режущих аппаратов в жатках комбайнов, является сложная конструкция привода ножей с большим количеством кинематических звеньев и сложной системой преобразования вращательного движения приводного вала в возвратно-поступательное движение ножей режущего аппарата [12].

Авторами предложена конструкция электропривода двухножевого режущего аппарата на основе линейных асинхронных двигателей, устраняющая выше приведенные недостатки [9].

Цель и задачи исследования – создание и экспериментальное исследование работы режущего аппарата жатки комбайна с линейным электроприводом в лабораторных и полевых условиях. Поставлены и решены следующие задачи: разработан экспериментальный образец линейного электропривода режущего аппарата жатки комбайна и исследована его работа в полевых условиях.

Условия, материалы и методы исследования. Компонировка жатки с электрическим приводом основных элементов представлена на рисунке 1. При создании образца учитывались рекомендации, ранее изложенные в [5], [9].

Рисунок 1

Компоновка элементов жатки комбайна с линейным электроприводом режущего аппарата (вид сверху): 1, 2 – верхняя и нижняя ножевые полосы режущего аппарата; 3 – винтовой шнек; 4 – планчатое мотовило; 5, 6 – линейные асинхронные двигатели привода ножевых полос; 7 – асинхронный двигатель вращения винтового шнека и планчатого мотовила; 8, 9 – клиноременные передачи

В корпусе жатки располагаются режущий аппарат [13], состоящий из верхней 1 и нижней 2 ножевых полос с трапецеидальными сегментами, планчатое мотовило 3, необходимое для подгибания убираемой массы растений к режущему аппарату и винтовой шнек 4, служащий для направления срезанной массы к молотильной части комбайна. Ножевые полосы 1 и 2 режущего аппарата получают колебательное встречное возвратно-поступательное движение непосредственно от линейных асинхронных двигателей 5 и 6 [2]. Планчатое мотовило 3 и винтовой шнек 4 приводятся в движение с помощью асинхронного двигателя вращения 7 через клиноременные передачи 8 и 9. Конструкция электропривода режущего аппарата предусматривает установку линейных электродвигателей [6], [15] в стандартные посадочные места, где ранее располагались преобразователи враща-

тельного вида движения в поступательное, например, планетарного типа [10].

Привод каждой ножевой полосы осуществляется от отдельного двухстороннего плоского линейного асинхронного двигателя (ДПЛАД) [1], конструкция которого приведена на рисунке 2, а. ДПЛАД содержит верхний 1 и нижний 2 индукторы, закрепленные непосредственно в корпусе 3, жестко присоединенном к корпусу жатки комбайна и обхватывающие вторичный элемент 4. Между индукторами и вторичным элементом ДПЛАД устанавливается наименьший воздушный зазор перемещением индукторов вверх или вниз и закреплением их регулировочными болтами 5. Вторичный элемент 4 ДПЛАД перемещается во фторопластовых подшипниках скольжения 6 и 7, шарнирно соединяется с верхней либо нижней ножевыми полосами режущего аппарата.

Рисунок 2

Устройство ДПЛАД и иллюстрация его режима питания: а) устройство ДПЛАД; б) питание ДПЛАД в режиме вынужденных колебаний; 1 – верхний индуктор ДПЛАД; 2 – нижний индуктор ДПЛАД; 3 – корпус ДПЛАД; 4 – вторичный элемент ДПЛАД; 5 – крепежно-регулирующие болты индукторов; 6, 7 – фторопластовые подшипники скольжения; t_p – время включенного состояния ДПЛАД; t_o – время выключенного состояния ДПЛАД

При создании линейного электропривода экспериментальной установки использовали выпускаемую продукцию ООО «Ставропольский электромеханический завод». В качестве индук-

торов применялись изделия марки У2-БЗБ20.00000-01, вторичного элемента – изделия марки У2-БЗБ00.025. Внешний вид элементов, применяемых в ДПЛАД приведены на рисунке 3.

Рисунок 3

Внешний вид элементов ДПЛАД:

а) внешний вид собранного ДПЛАД с установленными индукторами 1 и вторичным элементом 2;

б) внешний вид индукторов ДПЛАД

Параметры индукторов:

- габаритные размеры индуктора (длина × ширина × высота): $230 \times 200 \times 60$ мм;
- число полюсов: $2p = 4$;
- полюсное деление: $\tau = 0,0425$ м;
- число зубцов: $z = 13$;
- напряжение и частота питающей сети: $U_n = 380$ В, $f = 50$ Гц;
- пусковое тяговое усилие $F_n = 500$ Н;
- синхронная скорость $V_0 = 4,25$ м/с.

Параметры вторичного элемента ДПЛАД:

- габаритные размеры (длина × ширина × высота): $230 \times 350 \times 8$ мм;
- материал: алюминиевый лист.

Параметры схемы замещения ДПЛАД [14], согласно данным завода изготовителя, состав-

ляют: $R_1 = 6,92$ Ом; $R_2' = 4,09$ Ом; $X_1 = 4,86$ Ом; $X_2' = 0,254$ Ом; $X_m = 2,67$ Ом.

Использование в ДПЛАД индукторов с числом пар полюсов, равным двум, приводит к усилению краевых эффектов [3], которые проявляются наложением на основную электромагнитную силу, развиваемую ДПЛАД и приводящую в движение режущий аппарат, дополнительной переменной высокочастотной силы с частотой, двукратной частоте переменного напряжения источника. Это повышает эффективность процесса резания ножевыми полосами: уменьшается как усилие резания, так и износ режущих кромок сегментов ножевых полос.

Кинематическая схема линейного электропривода режущего аппарата приведена на рисунке 4.

Рисунок 4

Кинематическая схема жатки комбайна с линейным асинхронным электроприводом режущего аппарата: 1 – силовой синхронный генератор; 2 – устройство управления и стабилизации трехфазного переменного напряжения; 3 – тиристорный блок коммутации, управляющий работой ДПЛАД в приводе режущего аппарата; 4, 5 – верхний и нижний индукторы ДПЛАД привода верхней ножевой полосы; 6 – вторичный элемент ДПЛАД верхней ножевой полосы; 7, 13 – верхняя и нижняя ножевые полосы режущего аппарата; 8 – фторопластовые подшипники скольжения вторичных элементов ДПЛАД; 9, 14 – упругие элементы ножевых полос; 10, 11 – верхний и нижний индукторы ДПЛАД нижней ножевой полосы; 12 – вторичный элемент ДПЛАД нижней ножевой полосы; 15 – прижимные пластины ножевых полос

Линейный электропривод режущего аппарата работает следующим образом. Силовой ге-

нератор синхронного типа 1, приводимый в движение от двигателя внутреннего сгорания ком-

байна через электромагнитную муфту, вырабатывает трехфазное линейное переменное напряжение величиной 380 В и частотой 50 Гц. Далее это напряжение стабилизируется по величине в устройстве 2 и подается к тиристорному блоку коммутации 3, управляющего работой ДПЛАД режущего аппарата жатки. Тиристорный блок коммутации подает напряжение на ДПЛАД в импульсном режиме, тем самым обеспечивая режим вынужденных колебаний (рисунок 2,б). В режиме вынужденных колебаний ДПЛАД режущего аппарата подключается и отключается к питающей сети, формируемой силовым генератором, тиристорным блоком коммутации 3 с определенными интервалами, позволяя настраивать необходимую технологическую амплитуду и частоту колебаний ножевых полос.

Привод верхней ножевой полосы работает следующим образом. При подключении ДПЛАД к трехфазной системе питания, электрический ток в индукторах начинает создавать бегущее магнитное поле. Попутно-направленные магнитные поля в верхнем 4 и нижнем 5 индукторах ДПЛАД (рисунок 4), взаимодействуя с токами, индуцируемыми в замкнутом контуре вторичного элемента 6, вызывают появление электромагнитных сил и перемещение вторичного элемента, шарнирно соединенного с ножевой полосой 7 в направлении электромагнитных сил – влево от центра жатки. По мере движения вторичного элемента 6 во фторопластовых подшипниках скольжения 8 происходит деформация упругого элемента 9. До момента его полного сжатия происходит отключение ДПЛАД от сети с помощью тиристорного блока коммутации. Под действием накопленной потенциальной энергии в сжатом упругом элементе 9, происходит движение ножевой полосы 7 в обратном направлении – к центру жатки. По мере движения ножевой полосы 7 упругий элемент 9 возвращаются в исходное положение, затем происходит повторное подключение ДПЛАД 5 (рисунок 1) к силовому синхронному генератору. Процесс повторяется.

Привод нижней ножевой полосы работает аналогично приводу верхней. Подключение ДПЛАД 6 (рисунок 1) к трехфазной системе питания, формируемой силовым генератором, происходит одновременно с подключением ДПЛАД 5, но в противофазном режиме, за счет чего ножевые полосы 1 и 2 движутся встречно по отношению друг к другу.

Для проверки возможности реализации кинематической схемы, приведенной на рисунке 4, на кафедре электрических машин и электрооборудования на основе разработанной математи-

ческой модели [5], теоретическое исследование которой производилось в программе объектно-визуального моделирования Matlab (приложение Simulink), создан лабораторный экспериментальный образец привода режущего аппарата, внешний вид и некоторые элементы которого приведен на рисунках 5,а, 5,в, ... 5,е, и тиристорный блок коммутации ДПЛАД в приводе, приведенный на рисунке 5,б.

Экспериментальная лабораторная установка позволила исследовать работу ДПЛАД в приводе двухножевого режущего аппарата на холостом ходу, согласовать совместную работу двух ДПЛАД в приводе режущего аппарата, получить экспериментальные амплитудно-частотные характеристики движения ножевых полос, времятоковые характеристики ДПЛАД и т. д. Также отдельно проведено экспериментальное исследование работы тиристорного блока коммутации (рисунок 5,б). Тиристорная коммутация применяется по причине необходимости обеспечения частоты колебаний ножевых полос в диапазоне 3...5 Гц, что не позволяло применить для управления ДПЛАД релейно-контактной аппаратуры.

Проведенные экспериментальные исследования в лабораторных условиях показали, что для эффективной работы режущего аппарата предпочтительной является работа ДПЛАД в режиме вынужденных колебаний. При этом исключаются датчики положения и появляется возможность настраивать параметры колебаний ножевых полос согласно технологическому процессу резания.

Для проведения полевых испытаний электропривод режущего аппарата на основе ДПЛАД был установлен в жатку комбайна типа ЖВН-6, которая агрегатировалась с шасси на базе самоходной косилки типа КПС. Этапы проведения испытаний приведены на рисунке 6.

Двухножевой режущий аппарат стандартной длиной 4,2 м с линейным электроприводом установлен в центре жатки, ЖВН-6 длиной 6 м, как приведено на рисунке 6,а. Установка ДПЛАД верхней и нижней ножевых полос приведена на рисунках 6,в и 6,г. Трехфазное напряжение на ДПЛАД режущего аппарата подавалось с тиристорного блока коммутации (рисунок 6,б), установленным в мобильной дизель-генераторной установке, приведенной на рисунке 6,д.

Полевые испытания проводились во второй половине сентября 2018 года в СПК «Ярославский» Дуванского района Республики Башкортостан. В ходе проведения экспериментальных исследований осуществлялась уборка участка

поля с полеглим ячменем сорта «Красноуфимский». Уборка злаковых происходила на пяти заранее подготовленных участках поля размером 300×4 м каждый. На каждом участке уборка велась по заранее подготовленной методике с определенной скоростью движений и частотой колебаний ножевых полос. Скорость движения комбайна на участке № 1 была равна 5 км/ч, на

участке № 2 – 6 км/ч, и т. д. На участке № 5 скорость уборки равнялась 9 км/ч. Каждый участок также был разделен на зоны размером 100×4 м. В зоне № 1 частота колебаний ножевых полос режущего аппарата равнялась 2 Гц, в зоне № 2 – 3 Гц, в зоне № 3 – 4 Гц. Момент окончания уборки культуры в зоне № 3 участка № 5 приведен на рисунке 6,е.

Рисунок 5

Лабораторный экспериментальный образец жатки комбайна с электроприводом двухножевого режущего аппарата на основе ДПЛАД: а – конструкция экспериментального лабораторного образца жатки с электроприводом; б – тиристорный блок коммутации ДПЛАД; в, г – соединение ДПЛАД с ножевой полосой и положение установленного упругого элемента; д – установленный ДПЛАД верхней ножевой полосы в корпусе жатки; е – установленный тиристорный блок коммутации и подключенный к нему ДПЛАД; 1 – корпус жатки; 2 – ДПЛАД привода нижней ножевой полосы; 3 – рычажно-шарнирная система; 4 – упругий элемент нижней ножевой полосы; 5 – верхняя ножевая полоса режущего аппарата; 6 – тиристорный блок коммутации ДПЛАД

а

б

в

г

д

е

Рисунок 6

Полевые испытания электропривода двухножевого режущего аппарата жатки комбайна на основе ПЛАД: а – жатка комбайна с установленным экспериментальным линейным приводом режущего аппарата; б – подключенный линейный электропривод режущего аппарата к дизель-генераторной установке; в, г – установленные ДПЛАД привода верхней и нижней ножевых полос; д – мобильная дизель-генераторная установка мощностью 10 кВА; е – момент окончания уборки зоны № 3 участка № 5 при проведения экспериментальных исследований работы режущего аппарата на поле

Для снятия экспериментальных характеристик электропривода режущего аппарата и их дальнейшего анализа в корпусе жатки комбайна были закреплены датчики линейных перемещений марки GEFRA LT509N09KB5C, приведенные на рисунке 7,а. Для определения величины токов, потребляемых ДПЛАД, в тиристорном блоке коммутации были установлены датчики тока марки CSLA1CF, приведенные на рисунке 7,б, позволяющие бесконтактным способом измерять постоянную, переменную и импульсную величину токов.

Все измерительные приборы прошли поверку в установленном порядке с выдачей свидетельств.

Для подачи напряжения на датчики использовался многоканальный блок питания БП-98-7-Х.

Измерение перемещений ножевых полос режущего аппарата жатки производилось путем снятия выходного напряжения с датчиков линейного перемещения, которые своей подвижной частью жестко связывались с ножевой полосой, а неподвижной к – основанию жатки. Сигнал с датчиков посредством аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (рисунок 7,в) передавался на ноутбук и выводился в рабочем окне специализированной программы с последующим сохранением характеристик.

Результаты исследования. В ходе проведения экспериментов в полевых условиях были получены токовые и амплитудно-частотные характеристики работы линейного привода режущего аппарата. Для сравнения полученных на экспериментальной установке и теоретических

зависимостей, полученных с помощью математического моделирования [5], совместили их на одном графике. На рисунке 8 приведены характеристики, соответствующие уборке культуры в зоне № 3 участка № 5 поля.

Анализ временных зависимостей величины тока индукторов ДПЛАД (рисунок 8,а) при сравнении по максимальной амплитуде и длительности импульса, потребляемого индукторами ДПЛАД, свидетельствует о том, что при

работе линейного электропривода режущего аппарата в установившемся режиме различие составляет не более 1,9 А, что составляет не более 8,8 %.

Совмещение экспериментальной временной зависимости амплитуды колебаний ножевых полос режущего аппарата с теоретической, позволяет сделать вывод о том, что отличие амплитуды колебаний не выходит за предел 8,4 % (рисунок 8,б).

а)

б)

в)

Рисунок 7

Оборудование, применяемое при проведении полевых испытаний электропривода режущего аппарата: а) датчик линейных перемещений GEFRA LT09N 09KB5C; б) датчик тока марки CSLA1CF; в) аналого-цифровой преобразователь марки Acute-1102

а)

б)

Рисунок 8

Экспериментальная и теоретическая временные зависимости:

а) тока индуктора ДПЛАД; б) амплитуды колебаний ножевых полос режущего аппарата а)

Выводы. Проведено экспериментальное исследование работы режущего аппарата жатки комбайна с линейным электроприводом в лабораторных и полевых условиях. Оценена работоспособность предложенной кинематической схемы. Получены экспериментальные временные зависимости величины тока индуктора

ДПЛАД и амплитуды колебаний ножевых полос. Результаты проведенных экспериментальных исследований не выходят за рамки допустимых значений – 10 %, в сравнение с теоретическими, что свидетельствуют об адекватности полученной ранее математической модели [5].

Библиографический список

1. Аипов, Р.С. Основы построения и теории линейных асинхронных приводов с упругими накопителями энергии [Текст] / Р.С. Аипов. Уфа: Башкирский ГАУ, 2006. 295 с.
2. Веселовский, О.Н. Линейные асинхронные двигатели [Текст] / О.Н. Веселовский, А.Ю. Коняев, Ф.И. Сарапулов; под общ. ред. О.Н. Веселовского. М.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.
3. Вилнитис, А.Я. Концевой эффект в линейных асинхронных двигателях [Текст] / А.Я. Вилнитис, М.С. Дриц. Рига: Зинатке, 1981. 257 с.
4. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины [Текст] : учебник для студентов вузов, обуч. по напр. «Агроинженерия» : допущено МСХ РФ / Н.И. Кленин, С.Н. Киселев, А.Г. Левшин. М.: КолосС, 2008. 816 с.
5. Леонтьев, Д.С. Математическая модель линейного электропривода режущего аппарата возвратно-поступательного движения [Текст] / Д.С. Леонтьев // Достижения науки – агропромышленному производству : материалы XLIX Международной научно-технической конференции. Челябинск: Челябинская ГАА, 2010. С. 329–334.
6. Линенко, А.В. Линейные асинхронные электроприводы сложного колебательного движения для технологических машин АПК [Текст] : учебное пособие / А.В. Линенко. Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. 183 с.
7. Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др.; под общ. ред. Г.Е. Листопада. М.: Агропромиздат, 1986. 688 с.
8. Ожерельев, В.Н. Современные зерноуборочные комбайны [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Механизация сельского хозяйства» и «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» : рек. УМО вузов РФ / В.Н. Ожерельев. М.: Колос, 2009. 175 с.
9. Привод режущего аппарата [Текст]: патент на изобретение № 2380882. Российская Федерация, МПК51 А01D 34/30, А01D 34/32, А01D 34/37 / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин, Д.С. Леонтьев, А.В. Линенко; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ. № 2008147456/12; завл. 01.12.2008; опубл. 10.02.2010, бюл. № 4. 5 с.
10. Труфляк, Е.В. Современные зерноуборочные комбайны [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Е.В. Труфляк, Е.И. Трубилин. 2-е изд., стереотип. Санкт-Петербург – Москва – Краснодар: Лань, 2017. 319 с.
11. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины [Текст] : учеб. для студ. вузов по агрономическим спец. / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. М. : КолосС, 2003. 624 с.
12. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов [Текст] / Н.Е. Резник. М. : Машиностроение, 1975. 311 с.
13. Босой, Е. С. Режущие аппараты уборочных машин (теория и расчет) [Текст] / Е. С. Босой. М. : Машиностроение, 1967. 168 с.
14. Сарапулов, Ф.Н. Основы теории и моделирования линейного асинхронного двигателя как объекта управления [Текст] / Ф.Н. Сарапулов, И.В. Черных. Екатеринбург, 1999. 228 с.
15. Соколов, М.М. Электропривод с линейными асинхронными двигателями [Текст] / М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. М.: Энергия, 1974. 136 с.

Сведения об авторах

1. **Аипов Рустам Сагитович**, доктор технических наук, профессор кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: (347) 228-36-55.
2. **Леонтьев Дмитрий Сергеевич**, старший преподаватель кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: dimaleon@mail.ru.
3. **Кабашов Владимир Юрьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и технологического оборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: (347) 228-07-17.

Статья посвящена разработке и исследованию экспериментальной установки электропривода двухножевого режущего аппарата жатки зерноуборочного комбайна. Приведена компоновка элементов жатки комбайна, режущий аппарат которой снабжается электроприводом на основе двухсторонних плоских линейных асинхронных двигателей. Составлена кинематиче-

ская схема линейного электропривода режущего аппарата, оценена ее работоспособность в лабораторных условиях. Выявлено, что для эффективности режущего аппарата предпочтительной является работа приводных асинхронных двигателей в режиме вынужденных колебаний. При этом исключаются датчики положения и появляется возможность настраивать параметры ко-

лебаний ножевых полос согласно технологическому процессу резания. Также проведено исследование линейного электропривода режущего аппарата жатки комбайна в полевых условиях. Для этого разработанный и испытанный в лабораторных условиях тиристорный блок коммутации и управления работой линейных асинхронных электродвигателей, позволяющий оптимально настраивать параметры колебательного процесса ножевых полос для конкретных условий уборки, подключался к мобильной дизель-генераторной установке. При этом экспериментально были получены временные зависимости величины токов индукторов двухсторонних плоских линейных асинхронных двигателей и

амплитуды колебаний ножевых полос режущего аппарата. При сравнении тока, потребляемого индукторами линейных двигателей по максимальной амплитуде и длительности импульса, сделаны выводы о том, что при работе линейного электропривода режущего аппарата в установившемся режиме различие по току составляет не более 8,8 % по отношению к ранее полученным теоретическим данным. Совмещение экспериментальной временной зависимости амплитуды колебаний ножевых полос режущего аппарата с теоретической позволяет сделать вывод о том, что отличие амплитуды колебаний не выходит за пределы 8,4 %. Все это свидетельствует об адекватности ранее полученной математической модели.

R. Aipov, D. Leontiev, V. Kabashov

EXPERIMENTAL STUDY OF LINEAR ELECTRIC DRIVE OF THE DOUBLE-BREED CUTTING MACHINE OF THE GRAIN COMBINE HEADER

Key words: *linear electric drive; reciprocating motion; cutting apparatus; knife strip; flat linear asynchronous motor; inductor; secondary element.*

Authors' personal details

1. **Aipov Rustam**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Electric Machinery and Equipment Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 34, 50-letiya Otyabrya Str., Ufa, 450001, phone: (347) 228-36-55.

2. **Leontiev Dmitry**, senior Lecturer, Head of the Electric Machinery and Equipment Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 34, 50-letiya Otyabrya Str., Ufa, 450001, e-mail: dimaleon@mail.ru.

3. **Kabashov Vladimir**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Life Safety and Technological Equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 34, 50-letiya Otyabrya Str., Ufa, 450001, phone: (347) 228-36-55.

The article is devoted to the development and research in the work of an experimental installation of an electric drive of a two-blade cutting apparatus of a combine harvester harvester. The layout of the combine harvester elements is given, the cutting apparatus of which is supplied with electric drive based on two-sided flat linear asynchronous motors. The kinematic diagram of the linear electric drive of the cutting apparatus was compiled, its efficiency was evaluated in laboratory conditions. It was revealed that for efficient operation of the cutting apparatus, the operation of drive induction motors in the mode of forced oscillations is preferable. This eliminates the position sensors and it is possible to adjust the parameters of the oscillations of the knife strips according to the technological process of cutting. A study was also made of the linear electric drive of the cutting apparatus of the combine harvester in field conditions. For this purpose, a thyristor switching and control unit for linear asynchronous electric motors, designed and tested under la-

boratory conditions, which allows optimally adjusting the parameters of the oscillating process of knife strips for specific harvesting conditions, was connected to a mobile diesel generator set. In this case, the time dependences of the currents of inductors of two-sided flat linear asynchronous motors and the amplitude of oscillations of the blade strips of the cutting apparatus were experimentally obtained. When comparing the current consumed by inductors of linear motors by the maximum amplitude and pulse duration, it was concluded that when the linear electric drive of the cutting unit operates in a steady state, the current difference is no more than 8,8 % compared to the previously obtained theoretical data. The combination of the experimental time dependence of the oscillation amplitude of the knife strips of the cutting apparatus with the theoretical one allows us to conclude that the difference in the amplitude of oscillations does not go beyond 8,4 %. All this testifies to the adequacy of the previously obtained mathematical model.

© Аипов Р.С., Леонтьев Д.С., Кабашов В.Ю.